

# Zmiany wybranych parametrów hemodynamicznych po zabiegu kriostymulacji ogólnoustrojowej u osób zdrowych

## Influence of the whole-body cryotherapy on the hemodynamic parameters in healthy subjects

Paweł Zalewski<sup>1</sup>, Małgorzata Tafil-Klawe<sup>2</sup>, Jacek J. Klawe<sup>1</sup>,  
Katarzyna Buszko<sup>3</sup>, Andrzej Lewandowski<sup>4</sup>, Izabela Panowicz<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Katedra i Zakład Higieny i Epidemiologii Collegium Medicum im. Ludwika Rydygiera, Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu, ul. M. Skłodowskiej-Curie 9, 85-094 Bydgoszcz

<sup>2</sup> Katedra Fizjologii, Zakład Fizjologii Człowieka CM UMK, ul. Karłowicza 24, 85-092 Bydgoszcz

<sup>3</sup> Katedra Podstaw Teoretycznych Nauk Biomedycznych i Informatyki Medycznej, Zakład Teorii Układów Biomedycznych CM UMK, ul. Jagiellońska 13, 85-067 Bydgoszcz

<sup>4</sup> Katedra i Zakład Podstaw Kultury Fizycznej CM UMK, ul. Świętojańska 20, 85-877 Bydgoszcz

<sup>5</sup> Klinika Uzdrawiskowa „Pod Tężniami” im. Jana Pawła II w Ciechocinku, ul. Warzelniana 7, 87-720 Ciechocinek

### Streszczenie

Ekspozycja organizmu na działanie bodźca termicznego w zakresie temperatur kriogenicznych wywołuje reakcje fizjologiczne w układzie krążenia. Celem badań była ocena zmian parametrów hemodynamicznych, zachodzących pod wpływem krioterapii ogólnoustrojowej u osób zdrowych.

Badaniami objęto grupę 25 zdrowych mężczyzn; którzy przebywali jeden raz w kriokomorze w temperaturze około -110 °C przez 3 minuty. Ocenie poddano następujące parametry: interwały R-R (RRI), częstość akcji serca (HR), ciśnienie krwi skurczowe (sBP), ciśnienie krwi rozkurczowe (dBP), ciśnienie krwi średnie (mBP), objętość wyrzutową serca (SV), wskaźnik skurczowy serca (SI), objętość minutową serca (CO), wskaźnik sercowy (CI), całkowity opór naczyniowy (TPR), wskaźnik całkowitego oporu naczyniowego (TPRI). Rejestrację parametrów hemodynamicznych przeprowadzono dwukrotnie za pomocą systemu Task Force® Monitor firmy CNSystems: przed (01) i po (02) po zabiegu kriostymulacji ogólnoustrojowej. Badania wykonano zgodnie z kryteriami oceny czynnościowej autonomicznego układu nerwowego.

W efekcie ekspozycji na działanie temperatur kriogenicznych nastąpiło istotne zmniejszenie częstości pracy serca (HR) oraz zwiększenie objętości wyrzutowej i wskaźnika skurczowego serca (SV, SI). Wartości ciśnienia skurczowego (sBP), rozkurczowego (dBP), średniego (mBP) oraz wskaźnika sercowego (CO, CI) nie wykazały istotnych statystycznie zmian, podobnie jak wartość całkowitego oporu naczyniowego (TPR, TPRI). Zakres zmian powyższych parametrów wskazuje na wystąpienie wzrostu obciążenia wstępnego bez obciążenia następczego serca po zabiegu krioterapii ogólnoustrojowej.

**Słowa kluczowe:** krioterapia, autonomiczny układ nerwowy, hemodynamika

### Abstract

Whole-body cryotherapy (WBC) causes various physiological reactions, affecting mainly the peripheral and central part of circulatory system. The aim of this study was to assess the hemodynamic changes after whole-body cryotherapy in healthy subjects.

Twenty five healthy subjects were exposed for 3 minutes once to whole-body cryotherapy (WBC) in the temperature of -110 °C. The recording of biological signals included: R-R intervals (RRI), heart rate (HR), systolic blood pressure (sBP), diastolic blood pressure (dBP), mean blood pressure (mBP), stroke volume (SV), stroke index (SI), cardiac output (CO), cardiac index (CI), total peripheral resistance (TPR), total peripheral resistance index (TPRI). Subject were investigated twice: before (01) and after (02) cryotherapy exposition. The Task Force® Monitor was used to measure beat-to-beat hemodynamic parameters during the supine rest. Examination was made according to standards of autonomic nervous system assessment.

Whole-body cryotherapy (WBC) decreased heart rate (HR) and increased stroke volume and stroke index (SV, SI). The values of systolic (sBP), diastolic (dBP), mean (mBP) pressures remained unchanged. None of significant differences in cardiac output (CO), cardiac index (CI) and total peripheral resistance (TPR) were found. The hemodynamic changes indicate that whole-body cryotherapy (WBC) influences the increase of preload without increasing the afterload of the heart.

**Key words:** whole-body cryotherapy, autonomic nervous system, haemodynamics

### Wprowadzenie

Krioterapia ogólnoustrojowa, zwana również kriostymulacją ogólnoustrojową (WBC – *whole body cryotherapy*), stanowi jedną z metod zimnolecznictwa. Zabieg krioterapii ogólnoustrojowej

polega na poddaniu pacjentów oddziaływaniu powietrza o bardzo niskiej temperaturze (około  $-110\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) i bardzo niskiej wilgotności przez okres nieprzekraczający 2-3 minut.

Historia terapeutycznego wykorzystania krioterapii ogólnoustrojowej sięga już kilkudziesięciu lat wstecz, dotyczy to głównie takich państw, jak Japonia, Niemcy czy Polska, jednakże w ostatnich latach obserwuje się wzrost zainteresowania tą metodą w innych krajach, zwłaszcza w Wielkiej Brytanii i Stanach Zjednoczonych [1, 2, 3]. W krajach, w których od lat krioterapia wykorzystywana jest jako metoda lecznicza, prowadzonych jest wiele badań naukowych w zakresie klinicznego wykorzystania tej metody leczenia fizykalnego oraz biologicznych mechanizmów oddziaływania temperatur kriogenicznych na organizm człowieka.

Krótkotrwała, np. 3-minutowa ekspozycja nieizolowanego ciepłnie organizmu na oddziaływanie bardzo niskiej temperatury ( $-110\text{ }^{\circ}\text{C}$  do  $-140\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) stanowi silny bodziec termiczny, wywołujący reakcje termoregulacyjne, hormonalne i metaboliczne. Jedną z zasadniczych reakcji stanowi pobudzenie współczulnego układu nerwowego (SNS – *sympathetic nervous system*), skurcz włókien mięśni gładkich w ścianach naczyń skutkujący odruchową wazokonstrykcją obwodowych naczyń krwionośnych. Mechanizmowi temu towarzyszy jednoczesny wzrost całkowitego oporu naczyniowego (TPR – *total peripheral resistance*) oraz ciśnienia krwi (BP – *blood pressure*) [4, 5, 6]. Z kolei zanurzenie twarzy w zimnej wodzie również wyzwała odruchowy skurcz obwodowych naczyń krwionośnych oraz bradykardię, skutkiem tego jest centralizacja krążenia i efektywne ukrwienie mózgu [7]. W efekcie zwiększenie całkowitego oporu obwodowego i wzrost ciśnienia krwi powoduje zwiększeniem obciążenia serca, a tym samym zapotrzebowania mięśnia sercowego na tlen.

Pomimo wielu badań w zakresie oddziaływania temperatur kriogenicznych na organizm człowieka wciąż nie do końca poznany jest mechanizm obserwowanych zmian hemodynamicznych. Wydaje się, że skutków oddziaływania krioterapii ogólnoustrojowej nie można ograniczyć tylko do termoregulacyjnych odruchów naczyniowych, należy również uwzględnić wpływ wychłodzenia organizmu na ośrodkowe mechanizmy regulacyjne. Na uwagę zasługuje również fakt, że zakres obserwowanych zmian w dużej mierze uzależniony jest od stopnia adaptacji organizmu i fizjologicznych predyspozycji na działanie krańcowo niskich temperatur.

Bodziec termiczny o temperaturze w granicach  $-110\text{ }^{\circ}\text{C}$  do  $-140\text{ }^{\circ}\text{C}$  wywołuje silną reakcję stresową, a skutki jego oddziaływania mogą być obserwowane nawet przez kilka godzin [4, 8, 9]. Dlatego też, w celu głębszego poznania istoty skutków oddziaływania temperatur kriogenicznych na organizm człowieka, należy uwzględnić zarówno reakcje zachodzące w kilka, jak i kilkadziesiąt minut po ekspozycji na działanie bodźca termicznego.

Biorąc pod uwagę skalę zachodzących reakcji, bardzo istotne jest zagadnienie odniesienia skutków kriostymulacji ogólnoustrojowej do zastosowań klinicznych. Dotyczy to głównie pacjentów z zaburzeniami wydolności krążeniowej, w tym pierwotnego i wtórnego, cierpiących z powodu nadciśnienia tętniczego czy z objawami dysautonomii. Dlatego tak ważne jest dokładne i obiektywne poznanie mechanizmów fizjologicznych zachodzących pod wpływem temperatur kriogenicznych u osób całkowicie zdrowych, a następnie ich analiza pod kątem potencjalnie niekorzystnego działania na układ krążenia i autonomiczny układ nerwowy.

## Cel

Celem niniejszego opracowania jest ocena zmian parametrów hemodynamicznych zachodzących pod wpływem oddziaływania kriogenicznego bodźca termicznego u osób zdrowych.

## Materiał i metody

### Charakterystyka grupy badawczej

Analizą wybranych parametrów objęto grupę  $n=25$  zdrowych mężczyzn, spośród  $n=43$  zakwalifikowanych i przebadanych ochotników. Charakterystyka antropometryczna grupy badawczej (średnia  $\pm$  odchylenie): wiek  $31,5 \pm 5,61$  lat; waga  $83,7 \pm 10,10$  kg; wzrost  $1,79 \pm 0,05$  m; BMI  $25,9 \pm 2,82$  kg/m<sup>2</sup>, BSA  $2,0 \pm 0,12$  m<sup>2</sup>; spoczynkowe ciśnienie skurczowe (sBP)  $123,6 \pm 11,58$  mmHg; spoczynkowe

Tabela 1 Charakterystyka ogólna grupy badawczej

Cecha	Grupa badawcza (n=25)	
	średnia	SD
Wiek, lata	31,50	5,61
Wzrost, m	1,79	0,05
Waga, kg	83,70	10,10
BMI, kg/m <sup>2</sup>	25,90	2,82
BSA, m <sup>2</sup>	2,00	0,12
sBP spoczynkowe, mmHg	123,60	11,58
dBP spoczynkowe, mmHg	77,80	7,30

rozkurczowe (dBP)  $77,8 \pm 7,3$  mmHg (tabela 1).

Wśród badanych osób nie stwierdzono przeciwwskazań do zabiegu kriostymulacji ogólnoustrojowej. Kwalifikacja do badań następowała na podstawie ankiety, wypełnianej przez ochotnika, i szczegółowego badania lekarskiego, które miało na celu wykluczenie osób z jakąkolwiek dysfunkcją układu krążenia lub autonomicznego układu nerwowego. Osoby badane nie były poddawane zabiegom kriostymulacji ogólnoustrojowej co najmniej przez 12 miesięcy przed wykonaniem badania.

### Zabieg kriostymulacji ogólnoustrojowej

Metodyka badania opierała się na poddaniu badanych osób jednokrotnemu zabiegowi krioterapii ogólnoustrojowej w kriokomorze o typie sprężarkowym, składającej się z dwóch przedsionków (pierwszy ok.  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ , drugi ok.  $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) i komory właściwej. Badani przebywali w kriokomorze – w komorze właściwej przez 3 minuty w temperaturze od  $-115\text{ }^{\circ}\text{C}$  do  $-120\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Przed zabiegiem oraz do momentu zakończenia badania osoby badane przebywały w pomieszczeniu klimatyzowanym, o stałej temperaturze i wilgotności. W trakcie całego eksperymentu osoby badane nie wykonywały intensywnych ruchów, aktywność ograniczono do spacerów. Tym samym wyeliminowano wpływ czynności mięśni szkieletowych na dynamikę wychłodzenia i ogrzewania się ciała badanych osób.

### Rejestracja parametrów hemodynamicznych

Rejestracji parametrów hemodynamicznych wykonano za pomocą wysokospecjalistycznego urządzenia Task Force® Monitor (model 3040i, CNSystems Medizintechnik, Graz, Austria).

System pomiarowy Task Force® Monitor służy do nieinwazyjnej oceny parametrów hemodynamicznych oraz autonomicznego układu nerwowego. W skład systemu wchodzi moduły: kardiografii impedancyjnej (IKG); elektrokardiografii (EKG); oscylometrycznego pomiaru ciśnienia krwi (oscBP); ciągłego pomiaru ciśnienia krwi (contBP). Sygnały biologiczne rejestrowane z użyciem każdego z modułów zbierane są w sposób ciągły *beat-to-beat* i nieinwazyjny [10, 11, 12].

Spośród zarejestrowanych parametrów dla potrzeb niniejszego opracowania analizie poddano następujące parametry hemodynamiczne:

- RR-Interval:** interwał RR – RRI [ms],
- Heart rate:** częstość akcji serca – HR [1/min],
- Blood Pressure:** ciśnienie krwi skurczowe, rozkurczowe, średnie – sBP, dBP, mBP [mmHg],
- Stroke Volume:** objętość wyrzutowa serca – SV [ml],
- Stroke Index:** wskaźnik skurczowy – objętość wyrzutowa serca indeksowana w stosunku do powierzchni ciała – SI [ml/m<sup>2</sup>],
- Cardiac Output:** iloczyn objętości wyrzutowej i częstości pracy serca CO [l/min],
- Cardiac Index:** wskaźnik sercowy – iloczyn objętości wyrzutowej i częstości pracy serca indeksowany w stosunku do powierzchni ciała CI [l/min/m<sup>2</sup>],
- Total Peripheral Resistance:** całkowity opór obwodowy TPR [MPa·s/m<sup>3</sup> lub dyn·s/cm<sup>5</sup>],
- Total Peripheral Resistance Index:** wskaźnik całkowitego oporu obwodowego indeksowany względem powierzchni ciała TPRI [MPa·s/m<sup>3</sup> lub dyn·s/cm<sup>5</sup>/m<sup>2</sup>].

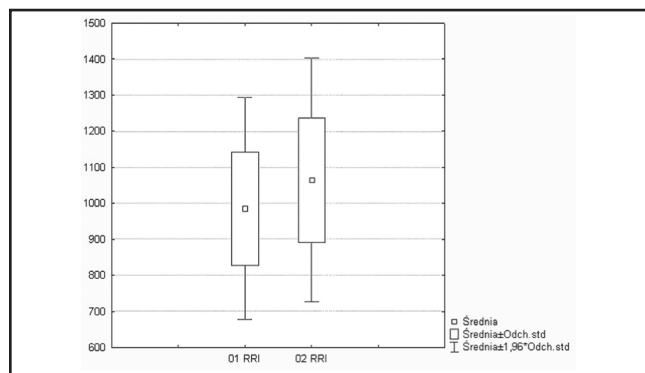
Osoby biorące udział w eksperymencie były wypoczęte, pierwszą rejestrację systemem Task Force® Monitor wykonano w godzinach porannych, w warunkach spełniających kryteria badania czynności autonomicznego układu nerwowego, nie później niż w dwie godziny od ostatniego porannego posiłku, drugą rejestrację wykonano w czasie do 15 minut od zabiegu krostymulacji ogólnoustrojowej. Podczas rejestracji parametrów hemodynamicznych osoby badane przebywały w pozycji leżącej. Rejestrację wykonano w czasie 5 minut od momentu unormowania się zapisów sygnałów biologicznych (01 – badanie TFM przed zabiegiem krostymulacji ogólnoustrojowej; 02 – badanie TFM po zabiegu krostymulacji ogólnoustrojowej.)

### Statystyka

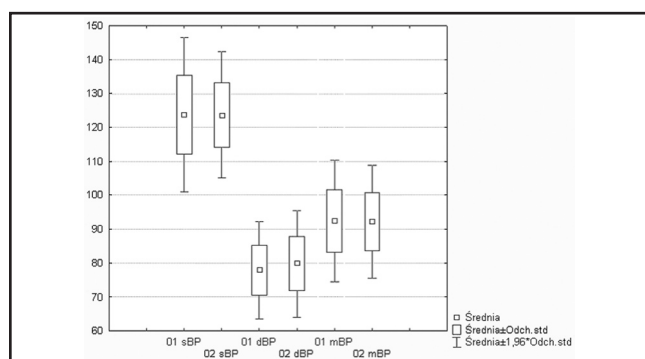
Ze względu na fakt, że warunki stosowania jednoczynnikowej analizy wariancji dla pomiarów powtarzanych nie zostały spełnione dla wszystkich mierzonych parametrów (normalność, równość wariancji), dla zebranych danych przeprowadzono test Friedmana. Na poziomie istotności  $\alpha = 0,05$  występują istotne statystyczne różnice pomiędzy wartościami średnimi niektórych z zarejestrowanych parametrów. W celu oceny, które pomiary w czasie wpływają na taki wynik testu Friedmana, dla każdego parametru wykonano test *post-hoc* Dunna. Wszystkie testy przeprowadzono na poziomie istotności  $\alpha = 0,05$ . Do analizy statystycznej wykorzystano program Statistica 8.0.

## Wyniki

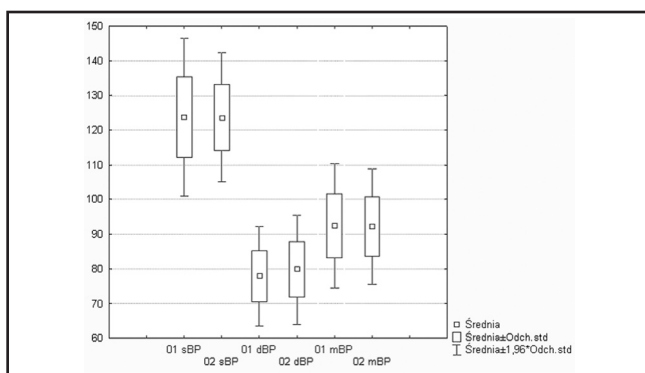
Zabieg krostymulacji ogólnoustrojowej wpłynął na wydłużenie interwału R-R (RRI) u badanych osób ( $p < 0,05$ ). Zarejestrowane średnie wartości interwałów R-R wahały się od 720,8 do 1282,9, średnia:  $985,0 \text{ ms} \pm 157,0$  przed zabiegiem krostymulacji (01) oraz od 683,5 do 1480,8 ms, średnia:  $1063,8 \text{ ms} \pm 172,5$  po zabiegu krostymulacji (02)



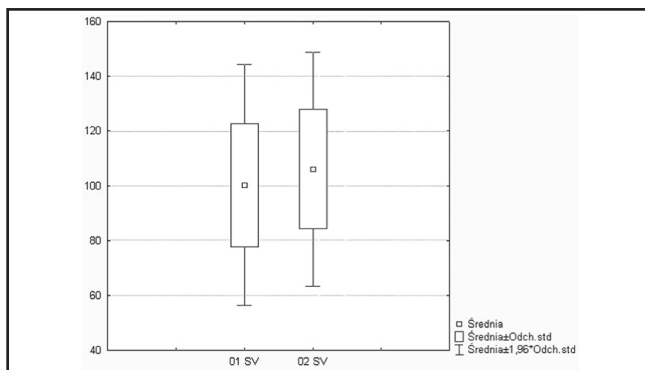
Rys. 1 Wykres pudełkowy dla zmiany średniej wartości interwałów R-R (RRI), zarejestrowanych przed (01) i po (02) zabiegu krostymulacji ogólnoustrojowej, wartości wyrażone w ms



Rys. 2 Wykres pudełkowy dla zmiany średniej wartości częstości akcji serca (HR), zarejestrowanych przed (01) i po (02) zabiegu krostymulacji ogólnoustrojowej, wartości wyrażone w 1/min



Rys. 3 Wykres pudełkowy dla zmian średnich wartości ciśnienia skurczowego (sBP), rozkurczowego (dBP) i średniego (mBP), zarejestrowanych przed (01) i po (02) zabiegu krostymulacji ogólnoustrojowej, wartości wyrażone w mmHg



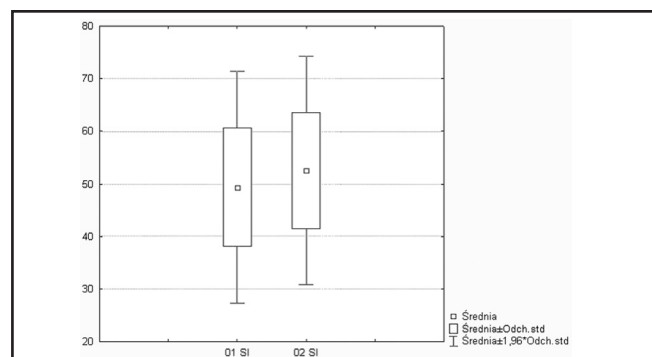
Rys. 4 Wykres pudełkowy dla zmian średniej wartości objętości wyrzutowej serca (SV), zarejestrowanych przed (01) i po (02) zabiegu krostymulacji ogólnoustrojowej, wartości wyrażone w ml

Tabela 2 Statystyka opisowa parametrów: RRI, HR, sBP, dBP i MBP, zarejestrowanych przed (01) zabiegiem kriostymulacji ogólnoustrojowej

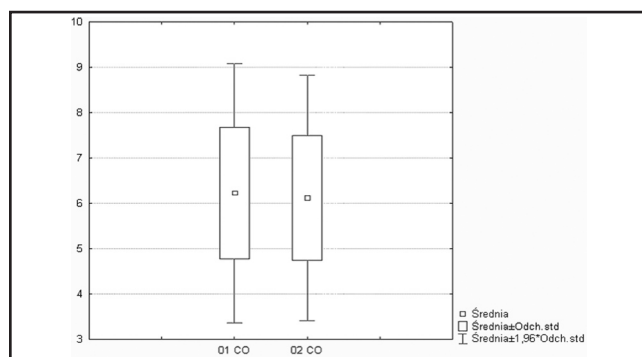
Zmienna	Statystyki opisowe: badanie 01 TFM						
	Średnia	Mediana	Minimum	Maksimum	Dolny kwartyl	Górny kwartyl	Odch. std
01 RRI	985,043	965,23	720,809	1282,933	887,537	1064,88	157,0492
01 HR	62,799	62,384	46,971	83,985	56,514	67,815	9,7516
01 sBP	123,696	121,302	108,879	156,034	118,013	129,887	11,5894
01 dBP	77,859	76,565	67,677	96,467	72,582	81,622	7,3121
01 mBP	92,403	90,449	81,758	119,452	86,394	96,828	9,1695

Tabela 3 Statystyka opisowa parametrów: RRI, HR, sBP, dBP i MBP, zarejestrowanych po (02) zabiegu kriostymulacji ogólnoustrojowej

Zmienna	Statystyki opisowe: badanie 02 TFM						
	Średnia	Mediana	Minimum	Maksimum	Dolny kwartyl	Górny kwartyl	Odch. std
02 RRI	1063,878	1058,292	683,56	1480,835	983,154	1132,237	172,5379
02 HR	58,34	57,392	40,805	87,917	54,116	61,522	10,0962
02 sBP	123,627	120,709	112,558	142,125	116,494	130,902	9,4951
02 dBP	79,823	80,726	59,773	98,378	75,339	84,923	8,0484
02 mBP	92,216	93,643	71,121	110,814	86,344	97,763	8,4752



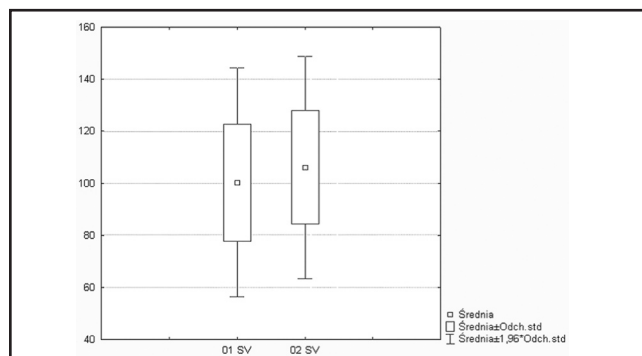
Rys. 5 Wykres pudełkowy dla zmian średniej wartości wskaźnika skurczowego (objętości wyrzutowej serca indeksowanej do powierzchni ciała – SI), zarejestrowanych przed (01) i po (02) zabiegu kriostymulacji ogólnoustrojowej, wartości wyrażone w ml/m<sup>2</sup>s



Rys. 6 Wykres pudełkowy dla zmian średniej wartości pojemności minutowej serca (CO) zarejestrowanych przed (01) i po (02) zabiegu kriostymulacji ogólnoustrojowej, wartości wyrażone w l/min

(rys. 1). Częstość akcji serca (HR) również uległa zmianie ( $p < 0,05$ ), przed kriostymulacją (01) średnia wartość HR wyniosła  $62,3 \text{ l/min} \pm 9,7$ , zakres od 46,9 do 83,9 l/min, z kolei po zabiegu kriostymulacji (02) średnia wartość HR wyniosła  $58,3 \text{ l/min} \pm 10,09$ , zakres od 40,8 do 87,9 l/min (rys. 2). Wartości rejestrowanych zmian ciśnienia skurczowego (sBP), rozkurczowego (dBP) i średniego (mBP) były nieznaczne i nie wykazały istotnie statystycznie zmian ( $p > 0,05$ ). Wartości ciśnień kształtowały się w następujących zakresach, przed krioterapią (01): sBP od 108,8 do 156,0 mmHg, średnia  $123,6 \pm 11,5$ ; dBP od 67,6 do 76,5 mmHg, średnia  $77,8 \pm 7,3$ ; mBP od 81,7 do 90,4 mmHg, średnia  $92,4 \pm 9,1$ ; po krioterapii (02): sBP od 112,5 do 142,1, średnia  $123,6 \pm 9,4$ ; dBP od 59,7 do 98,3 mmHg, średnia  $79,8 \pm 8,04$ ; mBP od 71,1 do 110,8 mmHg, średnia  $92,3 \pm 8,4$  (tabele 1 i 2).

Po zabiegu kriostymulacji zarejestrowano istotny statystycznie ( $p < 0,05$ ) wzrost wartości objętości wyrzutowej serca (SV), przed zabiegiem (01) średnia wartość tego parametru wyniosła 100,2 ml, po zabiegu 106,0 ml. Zakres zmian dla SV wynosił od 65,9 do 145,2 ml dla rejestracji przed zabiegiem kriostymulacji (01) oraz od 66,6 do 149,1 ml dla rejestracji po zabiegu (02). Na podobnym poziomie kształtowały się zmiany wartości objętości wyrzutowej serca, indeksowanej do powierzchni ciała (SI), średnia wartość tego parametru przed zabiegiem (01) wyniosła  $49,3 \text{ ml/m}^2 \pm 11,2$ , po zabiegu (02)  $52,5 \pm 11,06 \text{ ml}$ ,



Rys. 7 Wykres pudełkowy dla zmian średniej wartości wskaźnika sercowego (pojemności minutowej serca indeksowanej do powierzchni ciała – CI), zarejestrowanych przed (01) i po (02) zabiegu kriostymulacji ogólnoustrojowej, wartości wyrażone w l/min/m<sup>2</sup>

obserwowane zmiany wartości tego parametru również były istotnym statystycznie poziomem ( $p < 0,05$ ).

Obserwowane zmiany pojemności minutowej serca (CO) oraz wskaźnika sercowego (CI) były niewielkie i kształtowały się na poziomie nieistotnym statystycznie ( $p > 0,05$ ), dla CO średnia wyniosła  $6,22 \pm 1,45$ , zakres od 3,8 do 9,3 l/min przed krioterapią (01) oraz średnia  $6,11 \pm 1,38$ , zakres od 4,0 do 9,4 l/min po zabiegu kriostymulacji (02), z kolei dla CI średnia  $3,06 \pm 0,72$ , zakres 1,8 do

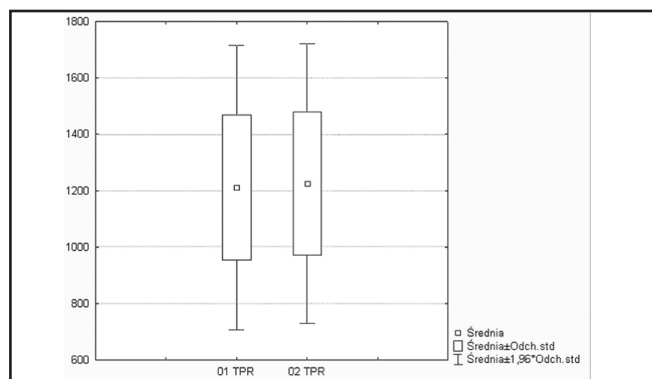


Tabela 4 Statystyka opisowa parametrów: SV, SI, CO, CI, TPR i TPRI, zarejestrowanych przed (01) zabiegiem kriostymulacji ogólnoustrojowej

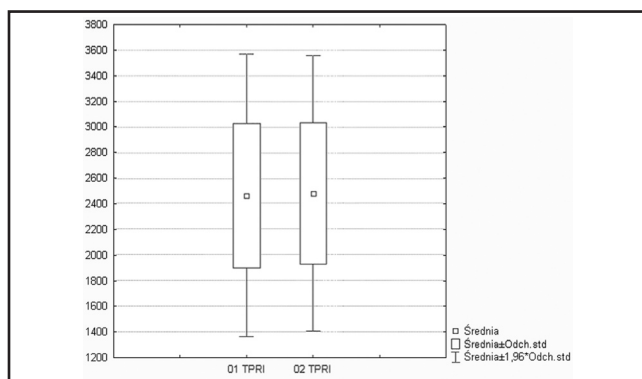
Zmienna	Statystyki opisowe: badanie 01 TFM						
	Średnia	Mediana	Minimum	Maksimum	Dolny kwartyl	Górny kwartyl	Odch. std
01 SV	100,201	105,202	65,925	145,287	80,568	117,875	22,4243
01 SI	49,374	48,299	30,293	66,283	40,503	58,663	11,2826
01 CO	6,223	6,161	3,833	9,357	4,984	7,346	1,4564
01 CI	3,065	3,129	1,829	4,563	2,417	3,507	0,7205
01 TPR	1210,81	1184,954	749,12	1677,528	999,997	1401,658	256,9788
01 TPRI	2466,29	2484,09	1642,011	3650,728	2012,439	2827,822	563,0673

Tabela 5 Statystyka opisowa parametrów: SV, SI, CO, CI, TPR i TPRI, zarejestrowanych po (02) zabiegu kriostymulacji ogólnoustrojowej

Zmienna	Statystyki opisowe: badanie 02 TFM						
	Średnia	Mediana	Minimum	Maksimum	Dolny kwartyl	Górny kwartyl	Odch. std
02 SV	106,095	103,092	66,65	149,144	91,51	125,31	21,7768
02 SI	52,544	50,959	31,299	71,697	44,966	60,383	11,0678
02 CO	6,114	5,908	4,061	9,493	5,084	6,862	1,3808
02 CI	3,024	3,128	1,996	5,038	2,522	3,343	0,6836
02 TPR	1225,314	1225,107	766,404	1678,158	1061,976	1392,584	253,5025
02 TPRI	2481,811	2406,24	1597,665	3436,585	2107,894	2809,512	549,5608



Rys. 8 Wykres pudełkowy dla zmian średniej wartości całkowitego oporu naczyniowego (TPR), zarejestrowanych przed (01) i po (02) zabiegu kriostymulacji ogólnoustrojowej, wartości wyrażone w MPa·s/m<sup>3</sup>



Rys. 9 Wykres pudełkowy dla zmian wskaźnika całkowitego oporu naczyniowego indeksowanego względem powierzchni ciała (TPRI) zarejestrowanych przed (01) i po (02) zabiegu kriostymulacji ogólnoustrojowej, wartości wyrażone w MPa·s/m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>

4,5 l/min/m<sup>2</sup> przed kriostymulacją (01), średnia 3,02±0,68, zakres od 1,9 do 5,0 l/min/m<sup>2</sup> po kriostymulacji (02).

Analiza danych wykazała, że zmiany wartości całkowitego oporu naczyniowego (TPR) również kształtowały się na poziomie nieistotnym statystycznie. Średnia wartość całkowitego oporu naczyniowego przed ekspozycją na działanie czynnika kriogenicznego (01) wyniosła 1210,81±256,97, zakres od 749,12 do 1677,52 MPa·s/m<sup>3</sup>, natomiast wskaźnika całkowitego oporu naczyniowego (TPRI) kształtowała się na poziomie 2466,29±563,06, zakres od 1642,01 do 3650,72 MPa·s/m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>. Po ekspozycji (02) średnia wartość TPR wyniosła 1225,31±253,50, zakres od 766,40 do 1678,15 MPa·s/m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>, natomiast w przypadku TPRI średnia wyniosła 2481,81±549,56, zakres od 1597,66 do 3436,58 MPa·s/m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.

## Dyskusja

Analiza zarejestrowanych sygnałów biologicznych w czasie 15 minut od zabiegu kriostymulacji ogólnoustrojowej wskazuje, że ekspozycja organizmu na kriogeniczny czynnik termiczny o temperaturze ok. -110 °C przez 3 minuty nie wywołuje istotnych

zmian zarówno ciśnienia skurczowego (sBP), rozkurczowego (dBP), jak i średniego (mBP) (tabele 2 i 3). Uzyskane wyniki są różne od wyników przedstawionych przez Westerlund i wsp. [4], Fricke [1] oraz Taghawinejad i wsp. [13], którzy wskazują na wzrost wartości skurczowego ciśnienia krwi o 9-10 mmHg i ciśnienia rozkurczowego krwi około 5 mmHg u Taghawinejad i wsp. [13], natomiast u Fricke [1] wzrost sięgał 10 mmHg. Jednakże Westerlund i wsp. [4] wskazują, że obserwowany wzrost ciśnienia krwi był krótkotrwały i wykazywał dużą indywidualną zmienność w obrębie grupy badawczej. Dla potrzeb niniejszych badań została stworzona dość jednolita grupa badawcza składająca się wyłącznie z osób zdrowych i tylko mężczyzn, co mogłoby tłumaczyć wystąpienie tak jednolitych zmian wartości ciśnienia krwi.

Wyniki wskazują również na brak istotnych zmian w wartości całkowitego oporu naczyniowego (TPR), co także tłumaczy brak zmian wartości ciśnień (sBP, dBP, mBP) (tabele 4 i 5).

W przypadku parametru częstości akcji serca (HR) analiza wyników wykazała istotne zmniejszenie wartości tego parametru (tabele 2 i 3). W przypadku niektórych z badanych osób odnotowano spadek HR

rzędu 15 uderzeń serca na minutę. Uzyskane wyniki są przeciwne zarówno do wyników uzyskanych przez Gregorowicz [14], gdzie nie zanotowano zmian częstości akcji serca (HR), jak i wyników uzyskanych przez Piechurę i wsp. [15], które wskazują na wzrost częstości akcji serca (HR) po jednokrotnej ekspozycji osób zdrowych na działanie temperatur kriogenicznych. Wyniki, wskazujące na obniżenie częstości akcji serca (HR), są zgodne z wynikami Koczorowska i wsp., które wskazują na zmniejszenie wartości tego parametru (HR) tylko u pacjentów z prawidłowym ciśnieniem krwi [16]. Przedstawione wyniki są również zgodne z opracowaniami przedstawionymi przez Hanna i wsp., w których również wykazano zmniejszenie wartości parametru (HR) na skutek oddziaływania bodźca termicznego o niskiej, lecz nie kriogenicznej temperaturze [17].

Analiza kolejnych parametrów hemodynamicznych wykazała istotny wzrost wartości wskaźnika skurczowego serca (SV) oraz wskaźnika skurczowego serca indeksowanego do powierzchni ciała (SI) (tabele 4 i 5). Z kolei nie wykazano istotnych zmian wartości wskaźnika sercowego (CO), a tym samym wartości wskaźnika sercowego indeksowanego do powierzchni ciała pacjenta (CI), pomimo wzrostu wskaźnika skurczowego (SV), co bezpośrednio wiązało się z obniżeniem częstości akcji serca (HR) (tabele 4 i 5). Najprawdopodobniej wzrost wartości wskaźnika skurczowego serca (SV) był efektem skurczu skórnych naczyń krwionośnych, co przełożyło się na zwiększenie powrotu żylnego i poziomu wypełnienia komór serca. Brak zmian wartości całkowitego oporu naczyniowego (TPR) również przemawia za wystąpieniem tego mechanizmu.

Z powyższej analizy wynika, że reakcja organizmu na działanie czynnika kriogenicznego przypomina reakcję na nurkowanie. Jednak w przypadku ekspozycji na czynnik kriogeniczny głównym bodźcem jest bardzo niska temperatura, dlatego intensywne pobudzenie termoreceptorów powoduje zmniejszenie częstości akcji serca (HR) [18-22]. Poza tym powyższe wyniki wskazują, że krioterapia ogólnoustrojowa powoduje wzrost obciążenia wstępnego serca bez zmian obciążenia następczego [21-24].

## Wnioski

Jednorazowy zabieg kriostymulacji ogólnoustrojowej powoduje wzrost obciążenia wstępnego serca bez zmian obciążenia następczego. ■

## Literatura

1. R. Fricke: *Ganzkörperkalttherapie in einer Kalter-Kammer mit Temperaturen -110 °C*, Zeitschrift für Physikalische Medizin Balneologie Medizin Klimatologie, vol. 18, 1989, s. 1-10.
2. G. Birwe, M. Taghawinejad, R. Fricke, R. Hartmann: *Ganzkörperkalttherapie. Beeinflussung hamatologischer und entzündlicher*, Zeitschrift für Physikalische Medizin Balneologie Medizin Klimatologie, vol. 18, 1989, s. 16-22.
3. H. Podbielska, W. Stręk, G.J. Muller, D. Biały: *Systemic cryotherapy. Indications and contraindications, process of treatment and its physiological and clinical results*, Acta Biomedical Engineering, Whole Body Cryotherapy, Indygo Zahir Media, Wrocław 2007, s. 9-20.
4. T. Westerlund, J. Smolander, A. Uusitalo-Koskinen, M. Mikkelsen: *The blood pressure responses to an acute and long-term whole-body cryotherapy (-110 °C) in men and women*, Journal of Thermal Biology, vol. 29, 2004, s. 285-290.
5. L. Mourot, C. Cluzeau, J. Regnard: *Physiological assessment of a gaseous cryotherapy device: thermal effects and changes in cardiovascular autonomic control*, Annales de Readaption et de Medecine Physique, vol. 50, 2007, s. 209-217.
6. T. Westerlund, J. Oksa, J. Smolander, M. Mikkelsen: *Thermal responses during and after whole-body cryotherapy (-110 °C)*, Journal of Thermal Biology, vol. 28, 2003, s. 601-608.
7. J. Jorg (red.): *Diagnostyka autonomicznego układu nerwowego i zaburzeń snu*, Urban & Partner, Wrocław 2006.
8. P. Zalewski, K. Buszko, J. Klawe, M. Tafil-Klawe i in.: *Krótkoczasowa analiza termowizyjna skutków krioterapii ogólnoustrojowej u osób zdrowych*, Inżynieria Biomedyczna – Acta Bio-Optica et Informatica Medica, vol. 14, 2008, s. 272-277.
9. F. Marino, J.M. Sockler, J.M. Fry: *Thermoregulatory, metabolic and sympathoadrenal responses to repeated brief exposure to cold*, Scandinavian Journal of Clinical and Laboratory Investigation, vol. 58, 1998, s. 537-546.
10. J. Fortin, W. Habenbacher, A. Heller: *Non-invasive beat-to-beat cardiac output monitoring by an improved method of transthoracic bioimpedance measurement*, Computers in Biology and Medicine, vol. 36, 2006, s. 1185-1203.
11. J. Fortin, W. Habenbacher, R. Gruellenberger, P. Wach, F. Skrabal: *Real time monitor for hemodynamic beat-to-beat parameters and power spectra analysis of the biosignals*, Proceedings of the 20th annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, vol. 20(1), 1998.
12. G. Parati, G. Ongaro, G. Bilo, F. Glavina, P. Castiglioni, M. Di Renzo: *Noninvasive beat-to-beat blood pressure monitoring: new developments*, Blood Press Monit., vol. 8, 2003, s. 31-36.
13. M. Taghawinejad, G. Birwe, R. Fricke, R. Hartmann: *Ganzkörperkalttherapie Beeinflussung von Kreislauf- und Stoffwechselfparametern*, Zeitschrift für Physikalische Medizin Balneologie Medizin Klimatologie, vol. 18, 1989, s. 23-30.
14. H. Gregorowicz: *Wpływ ogólnoustrojowej krioterapii na wybrane wskaźniki hemodynamiczne i wentylacji płuc w schorzeniach reumatycznych*, Praca doktorska AM, Wrocław 1992.
15. R. Piechura, T. Kaczmarek, M. Załęski: *Wpływy ogólnoustrojowego oddziaływania temperatur kriogenicznych na zdolność wysiłkową*, Fizjoterapia, vol. 6, 1998, s. 68-72.
16. M. Koczorowska, S. Skorupska, A. Mamcarz: *Wpływy krioterapii ogólnoustrojowej na wybrane parametry hemodynamiczne*, Folia Cardiologica Excerpta, vol. 2 (supl. A), 2007.
17. J.N. Hanna, McN Hill, J.D. Sinclair: *Human cardiorespiratory responses to acute cold exposure*, Clinical and Experimental Pharmacology and Physiology, vol. 2, 1975, s. 229-238.
18. F. Marino, J.M. Sockler, J.M. Fry: *Thermoregulatory, metabolic and sympathoadrenal responses to repeated brief exposure to cold*, Scandinavian Journal of Clinical and Laboratory Investigation, vol. 58, 1998, s. 537-546.
19. H. Rintamaki: *Human Responses to Cold*, Alaska Medicine, vol. 49, 2006, s. 29-31.
20. T.E. Wilson, C.L. Sauder, M.L. Kearney, N.T. Kuipers, U.L. Leuenberger, K.D. Monahan: *Skin-surface cooling elicits peripheral and visceral vasoconstriction in humans*, Journal of Applied Physiology, vol. 103, 2007, s. 1257-1262.
21. L. Jansky, E. Matouskova, V. Vavra, S. Vybiral, P. Jansky, D. Jandova, I. Knizkova: *Thermal, cardiac and adrenergic responses to repeated local cooling*, Physiology Research, vol. 55, 2006; s. 543-549.
22. S. Komulainen, T. Oja, H. Rintamaki, H. Virokannas, S. Keinanen-Kiukaanniemi: *Blood pressure and thermal responses to whole body cold exposure in mildly hypertensive subjects*, Journal of Thermal Biology, vol. 29, 2004, s. 851-856.
23. F. Yamazaki, R. Sone: *Thermal stress modulates arterial pressure variability and arterial baroreflex response of heart rate during head-up tilt in humans*, European Journal of Applied Physiology, vol. 84, 2001, s. 350-357.
24. T.E. Graham: *Thermal, metabolic and cardiovascular changes in men and women during cold stress*, Medicine and Science in Sports and Exercise, vol. 20, 1988, s. 185-192.

otrzymano / received: 12.08.2009 r.  
zaakceptowano / accepted: 05.09.2009 r.